

## **Підготовчі процеси збагачення**

---

УДК 621.926: УДК 622.73

**А.А. ТИТОВ**, канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЗОНЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛА МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ДЕЗИНТЕГРАТОРОВ**

#### *Введение*

Разработка усовершенствованных методов расчета рабочих органов дезинтеграторов, под которыми будем понимать оборудование, выполняющее непосредственное дробление и (или) измельчение полезных ископаемых, невозможно без четкого представления об так называемом элементарном акте дробления. Данный акт подразумевает один из многих циклично повторяющихся эпизодов сближения рабочих поверхностей дезинтегратора с последующим разрушением материала. Выделим две стадии элементарного акта:

1) захват – уплотнение слоя частиц с их переупаковкой при незначительных усилиях взаимного прижатия поверхностей до момента формирования объема материала, дальнейшее уплотнение которого невозможно без разрушения частиц;

2) дезинтеграция – дальнейшее деформирование с разрушением некоторых или всех частиц, при этом на кривой зависимости давления от деформации происходит резкий перелом.

Данные стадии приблизительно соответствуют известным зонам кривой зависимости давления от относительной деформации слоя для уплотнения сыпучих материалов [1], с тем исключением, что на стадии захвата не происходит разрушения наиболее крупных частиц.

Фактический объем, который занимает материал, плотно зажатый между рабочими поверхностями в конце стадии захвата, называется объемом зоны деформирования [2]. Начало стадии дезинтеграции соответствует точке перелома на компрессионной кривой [1]. Отношение прилагаемой энергии в элементарном акте дробления к объему зоны деформирования позволяет определить удельную энергию разрушения, от которой зависит характер разрушения [3] и гранулометрический состав продуктов.

Актуальность работы. Геометрическая конфигурация зоны деформирования бывает самой разнообразной и зависит от типа дезинтегратора. Для щековых дробилок она представляет собой призму между двумя плоскостями, раскрытыми с углом  $\alpha$  (рис. 1, а), расчетная толщина материала – в один слой, соответствующий наибольшему куску дробимого материала [4]. Угол  $\alpha$  имеет название угла захвата и теоретически зависит только от коэффициента трения куска о поверхность щеки. Это понятие применимо также к конусным и валковым дробилкам.

Такое же классическое описание угла захвата одной частицы может быть

применено и ко всем мельницам, использующим в качестве мелющих тел шары или стержни, когда максимальный радиус зоны  $x_R$  (рис. 1, б), на котором частица еще удерживается в зоне деформирования, определяется только радиусом шара и коэффициентом внешнего трения [5, 6].

Более эффективным по сравнению с рассмотренными случаями считается разрушение "в слое", когда происходит захват 3...5 и более слоев материала по толщине. При этом достигается селективное раскрытие минералов и повышенный выход частиц кубовидной формы, чему в последнее время уделяется большое внимание [7, 8].

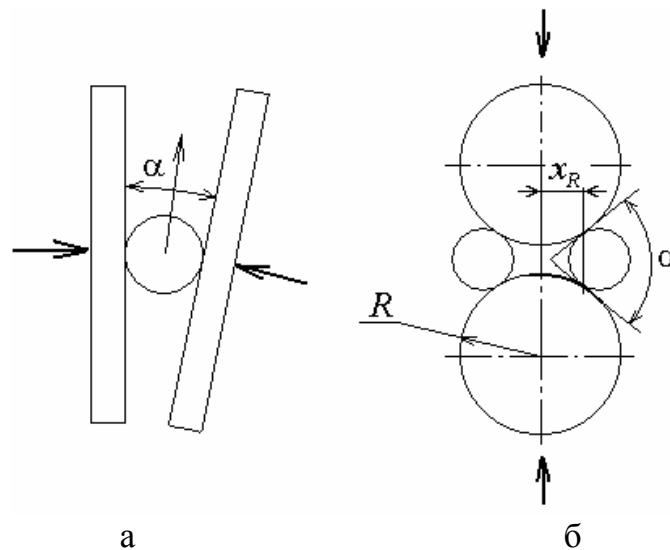


Рис. 1. Угол захвата монослоя:  
а – щековая дробилка; б – шаровая мельница

Для случая сжатия мелкодисперсного материала, помимо нормальных усилий дробления, появляются и боковые распорные усилия между частицами, приводящие к выталкиванию некоторой части материала из зоны деформирования и существенному уменьшению объема зоны [9]. Здесь для случая мелко-го материала (большое количество слоев) показано линейное соотношение высоты и радиуса зоны деформирования с коэффициентом, зависящим от соотношения сил внешнего и внутреннего (в слое материала) трения.

Таким образом, на сегодняшний день известны случаи определения геометрических параметров зоны деформирования для монослоя материала или для большого количества слоев, но подходы к расчету объема зон деформирования существенно отличаются. Вместе с тем, большой практический интерес имеет разрушение материала с толщиной слоя в несколько размеров максимальной частицы, что требует дополнительных исследований.

Цель данной работы – получить экспериментальные зависимости геометрических параметров зоны деформирования сыпучего материала между двумя параллельными плоскостями для малого количества слоев материала.

### Основная часть

Исходным материалом является дробленый гранит узких фракций с максимальной крупностью частиц соответственно  $d = 2, 10$  и  $20$  мм. Поверхность плит – стальная шероховатая.

Схема нагружения слоя материала показана на рис. 2.

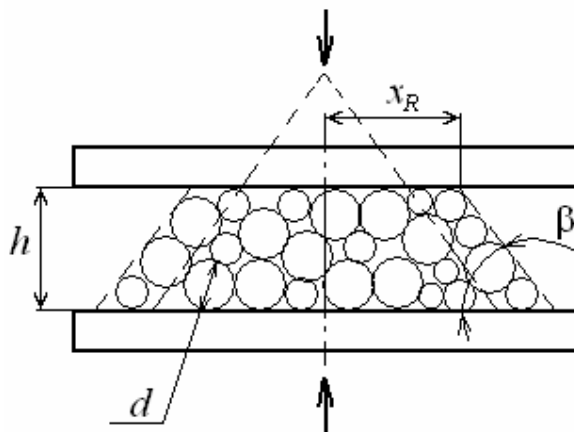


Рис. 2. Зона деформирования материала

Плиты располагались горизонтально, сжатие производилось до момента окончания стадии захвата. После подъема верхней плиты материал имел форму усеченного конуса с радиусом верхнего основания равным  $x_R$ , остаточная толщина слоя материала составляла  $h$ , угол наклона образующей конуса к горизонту составлял  $\beta$ .

Перед началом нагружения определения масса материала аккуратно насыпалась в центр плиты в виде конуса. Производилось несколько повторных сжатий, после чего масса изменялась. Для каждой серии сжатий вычислялись усредненные значения геометрических параметров зоны деформирования.

Результаты измерений показаны на рис. 3.

На графиках зависимостей можно выделить две зоны, рассмотрим на примере частиц  $d = 20$  мм.

В зоне 1, при остаточной высоте  $h < 40$  мм, что соответствует приблизительно двум слоям частиц максимальной крупности, характер зависимости нелинейный, при этом очевидно, что даже при радиусе  $x_R = 0$  высота зоны не может быть менее величины  $d = 20$  мм (измерения в данной точке не проводились, они соответствуют захвату одной крупной частицы).

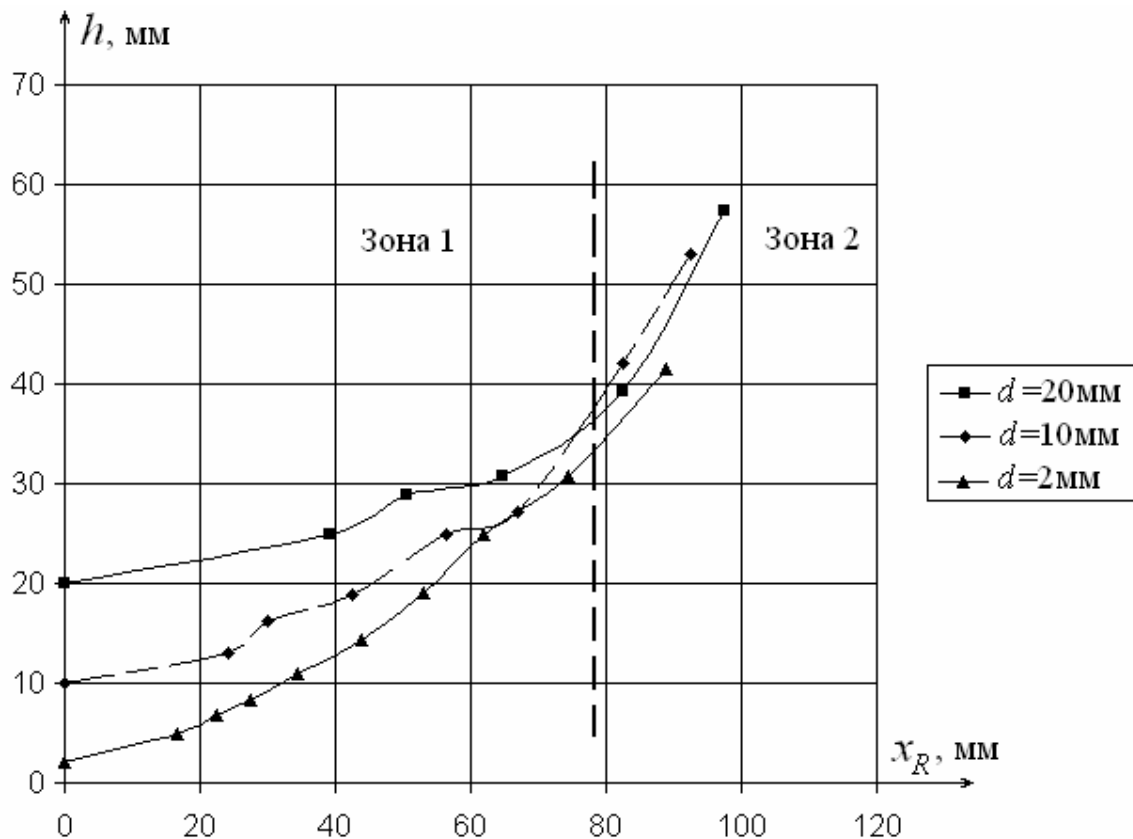


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований

В зоне 2 предполагаем характер зависимости, близкий к линейному. Это предположение можно подтвердить на примере частиц  $d = 10$  мм, начиная с высоты  $h = 27$  мм, и на примере частиц  $d = 2$  мм, начиная с высоты  $h = 5$  мм.

Более того, при  $h > 40$  мм все зависимости сливаются в одну. Это на наш взгляд объясняется тем, что при большом количестве слоев, независимо от крупности частиц, геометрия зоны деформирования определяется только коэффициентами внутреннего и внешнего трения, что было показано в [9].

На основании анализа кривых также делаем вывод, что крупность частиц существенно влияет на характер кривых, начиная с остаточной толщины 3...5 слоев материала.

#### Выводы

1. Получены зависимости высоты зоны деформирования от ее радиуса для узких фракций гранита максимальной крупностью 2, 10 и 20 мм.
2. Зависимости имеют две зоны: нелинейную, при количестве слоев материала  $h/d \leq 2...3$ , и линейную, при большем количестве слоев.
3. При высоте слоя свыше 40 мм все зависимости сливаются в одну.
4. Результаты эксперимента показывают характер изменения соотношения размеров зоны деформирования при переходе от монослоя материала к большому количеству слоев.

### **Список литературы**

1. Основные закономерности изменения состояния слоя сыпучего материала при сжатии / В.И. Ревнивцев, О.П. Барзуков, Н.А. Иванов и др. // Обогащение руд. – 1984. – №4. – С. 3-6.
2. Кухарь А.Г. О закономерностях процесса измельчения в вертикальной вибрационной мельнице // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1983. – Вып. 32. – С. 44-51.
3. Титов А.А. Исследование разрушения частиц сплава ВК8 при циклическом ударном нагружении // Науковий вісник НГАУ. – 2000. – №5. – С. 43-45.
4. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
5. Труды европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат, 1966. – 603 с.
6. Анциферов А.В., Титов А.А. Об одном из подходов к получению уравнения кинетики измельчения материалов в вертикальных вибрационных мельницах // Науковий вісник НГАУ – 1999. – № 2. – С. 105-108.
7. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов / В.И. Ревнивцев, Г.А. Денисов, Л.П. Зарогатский и др. – М.: Недра, 1992. – 430 с.
8. Электронный песчур: <http://sgm-eng.ru/o-kompanii/articles/texnologiya-proizvodstva-kubovidnogo-shhebenya>
9. Анциферов А.В., Титов А.А. Определение угла захвата измельчителей тонкодисперсных материалов // Вибрации в технике и технологиях. – 2004. – № 1(33). – С. 28-30.

© Титов А.А., 2015

*Надійшла до редколегії 05.08.2016 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. К.С. Заболотним*